

明 細 書

プラズマエッチング方法

技術分野

- [0001] 本発明は、プラズマエッチング方法に関し、特にトレンチを良好に形成するプラズマエッチング方法に関する。

背景技術

- [0002] 近年、エレクトロニクス機器における小型化に伴って、それに付随する半導体デバイスも小型化が要求されてきている。従って、半導体デバイスの素子分離やメモリ・セル容量面積の確保を目的としてシリコン基板に形成されるトレンチ(溝)やビアホール(穴)には、例えば40以上の高アスペクト比(溝または穴の深さ／溝または穴の径)が要求される。そして、このような高アスペクト比のトレンチやビアホールをシリコン基板に形成する方法として、エッチングガスをプラズマ化して生じた活性種(イオンやラジカル)によりシリコン基板のエッチングを行うプラズマエッチング方法がある。トレンチとビアホールのプラズマエッチングメカニズムは概ね同じであるので、以下ではトレンチに関して述べる。
- [0003] ところで、トレンチには高アスペクト比が要求されると共に、図10に示されるような側壁部の傾斜角を約90度(垂直)にすることが要求される。しかし、高アスペクト比のトレンチを実現しようとする場合、トレンチの形状制御が困難となるので、トレンチ形状に対する要求とアスペクト比に対する要求とを同時に満たすことができないという問題がある。すなわち、プラズマエッチング方法によるシリコン基板のエッチング工程においては、電氣的に中性なラジカルがシリコン基板表面に等方的に入射し、サイドエッチングを生じさせるので、特に高アスペクト比のトレンチにおいてはこれが顕著になり、トレンチ形状が所定の形状とならずに図11に示されるような形状となるのである。
- [0004] このような問題を解決する先行技術として、例えば特許文献1、2に記載のプラズマエッチング方法がある。
- [0005] 以下、特許文献1、2に記載のプラズマエッチング方法によるシリコン基板のエッチングについて図12A～図12Dに沿って説明する。

[0006] まず、図12Aに示されるように、パターン形成されたマスク300を用いて、エッチングガスをプラズマ化して生じた活性種によりシリコン基板310のエッチングを行う。このとき、イオンは負バイアスにより加速されてシリコン基板310表面に垂直に入射し、垂直方向にエッチングを進行させ、ラジカルはシリコン基板310表面に等方的に入射し、上端開口部のマスク300下にサイドエッチングを生じさせる。

[0007] 次に、図12Bに示されるように、エッチングに対する保護膜320を、トレンチ内のシリコン基板310表面に形成する。

[0008] 次に、図12Cに示されるように、再び活性種によりシリコン基板310のエッチングを行う。このとき、トレンチ側壁は保護膜320で覆われているため、ラジカルによる側面のエッチングは進行せず、垂直方向のエッチングと新たに現れたトレンチ側壁のエッチングが進行する。

[0009] 次に、図12Dに示されるように、上記図12A～図12Cの工程を繰り返す。

以上のように従来のプラズマエッチング方法によれば、エッチング工程を複数回に分けておこない、エッチングを進行させる前にはトレンチ側壁を保護膜で覆う。よって、エッチングの回数を増やすことで高アスペクト比のトレンチを形成することができ、トレンチ側壁のエッチングの進行を抑えることができるので、トレンチ形状に対する要求とアスペクト比に対する要求とを同時に満たすことができる。

特許文献1:特開昭60-50923号公報

特許文献2:特開平7-503815号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0010] しかしながら、従来のプラズマエッチング方法では、エッチング工程と保護膜形成の工程とが繰り返しておこなわれるために、トレンチ側壁に凸凹が生じるという問題がある。

[0011] そこで、本発明は、かかる問題点に鑑み、トレンチ形状に対する要求とアスペクト比に対する要求とを同時に満たすことができ、かつ、なめらかな形状の側壁を有するトレンチを形成できるプラズマエッチング方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0012] 上記目的を達成するために、本発明のプラズマエッチング方法は、処理室内においてSiからなる被処理体をプラズマエッチングする方法であって、フッ素化合物ガス及び希ガスを含むエッチングガスを前記処理室内に導入し、前記エッチングガスをプラズマ化して前記被処理体をエッチングすることを特徴とする。ここで、前記エッチングガスは、さらに O_2 ガスを含み、前記フッ素化合物ガスは、 SF_6 ガスであってもよいし、前記希ガスは、Heガスであってもよいし、前記処理室内に導入するHeガスの量は、前記エッチングガスの総流量に対して30%以上であってもよいし、前記エッチングガスをICP法によりプラズマ化してもよい。
- [0013] これらによって、トレンチ内部のガスが外部に追い出されるようなガス流を発生させ、トレンチ内部の反応生成物及び活性種の滞在時間を短くすることができるので、高アスペクト比のトレンチを形成する場合においても、トレンチにサイドエッチングが生じたり、トレンチが先細りしたりするのを抑制することができる。つまり、トレンチ形状に対する要求とアスペクト比に対する要求とを同時に満たすことができるプラズマエッチング方法を実現することができる。さらに、1回のエッチング工程によりシリコン基板にトレンチを形成することができるので、トレンチ側壁に凸凹が生じるのを防ぐ。つまり、なめらかな形状の側壁を有するトレンチを形成できるプラズマエッチング方法を実現することができる。
- [0014] ここで、前記処理室の内壁は、絶縁性材料から構成されてもよい。また、前記絶縁性材料は、石英、アルミナ、アルマイト加工されたアルミ母材あるいは酸化イットリウムであってもよい。
- [0015] これによって、プラズマ密度を高く保ち、エッチングレートを高く維持し、トレンチに対する側壁保護効果が低下するのを防ぐことができるので、トレンチにサイドエッチングを生じさせず、所定形状のトレンチを形成できるプラズマエッチング方法を実現することができる。
- [0016] また、前記エッチングガスは、さらに Cl_2 ガスを含んでもよい。また、前記処理室内に導入する Cl_2 ガスの量は、前記エッチングガスの総流量に対して10%以下であってもよい。
- [0017] これによって、エッチングガスは Cl_2 を含むので、トレンチ側壁保護効果が強すぎた

場合に、トレンチの底まで保護する作用が働き、部分的にエッチングが阻害されて生じるトレンチの底の残渣を低減することができるプラズマエッチング方法を実現することができる。

- [0018] また、前記フッ素化合物ガスは、 SF_6 ガスもしくは NF_3 ガスであり、前記エッチングガスに27MHz以上の周波数の電力を印加してプラズマ化してもよい。
- [0019] これによって、トレンチに対するサイドエッチングの進行を抑えることができるので、トレンチにサイドエッチングを生じさせず、所定形状のトレンチを形成できるプラズマエッチング方法を実現することができる。
- [0020] また、前記希ガスは、Heガスであり、前記処理室内に導入するHeガスの量は、前記エッチングガスの総流量に対して80%以上であってもよい。
- [0021] これによって、トレンチに対するサイドエッチングの進行をさらに抑えることができるので、所定形状のトレンチを形成できるプラズマエッチング方法を実現することができる。
- [0022] また、前記エッチングガスは、さらにポリマー生成ガスを含み、前記フッ素化合物は、 SF_6 ガスであってもよいし、前記ポリマー生成ガスは、 C_4F_8 ガス、 CHF_3 ガス、 C_5F_8 ガス及び C_4F_6 ガスのいずれかであってもよい。また、前記フッ素化合物ガスは、 SF_6 ガスであり、前記エッチングガスに500kHzの周波数の電力を印加してプラズマ化してもよい。
- [0023] これによって、SOI基板等をエッチングする際に、絶縁性のストッパー層が露出した後もトレンチ側壁を保護し続けることができるので、トレンチにサイドエッチングを生じさせず、所定形状のトレンチをSOI基板等に形成できるプラズマエッチング方法を実現することができる。
- [0024] また、 O_2 ガスを含み、フッ素化合物ガスとして SF_6 ガスを用いたエッチングガスを用いて前記被処理体をエッチングした後に、ポリマー生成ガスを含み、フッ素化合物ガスとして SF_6 ガスを用いたエッチングガスを用いて前記被処理体を更にエッチングしてもよい。
- [0025] これによって、エッチングにより絶縁性のストッパー層が露出するまでは、 O_2 ガスを用いたエッチングを行って高いエッチング速度を実現し、エッチングによりストッパー

層が露出した後は、ポリマー生成ガスを用いたエッチングを行ってサイドエッチングの進行の少ないエッチングを実現することができる。

[0026] また、前記フッ素化合物ガスは、 CF_4 ガスであってもよい。また、前記希ガスは、Ar ガスであってもよいし、前記処理室内に導入するArガスの量は、前記エッチングガスの総流量に対して50～90%であってもよい。

[0027] これらによって、反応性を弱め、エッチング速度を遅くすることができるので、高い寸法精度で深さの浅い高アスペクト比のトレンチを形成できる。

発明の効果

[0028] 本発明に係るプラズマエッチング方法によれば、高アスペクト比のトレンチを形成する場合においても、トレンチにサイドエッチングが生じたり、トレンチが先細りしたりするのを抑制することができ、トレンチ形状に対する要求とアスペクト比に対する要求とを同時に満たすことができる。また、なめらかな形状の側壁を有するトレンチを形成できる。さらに、トレンチにサイドエッチングを生じさせず、所定形状のトレンチを形成できる。さらにまた、高い寸法精度で深さの浅い高アスペクト比のトレンチを形成できる。

[0029] よって、本発明により、トレンチ形状に対する要求とアスペクト比に対する要求とを同時に満たすことができ、かつ、なめらかな形状の側壁を有するトレンチを形成できるプラズマエッチング方法を提供することが可能となり、実用的価値は極めて高い。

図面の簡単な説明

- [0030] [図1]本発明の第1の実施の形態のプラズマエッチング装置の構成を示す図である。
- [図2]同実施の形態のプラズマエッチング装置におけるエッチングガスにHeガスを用いた効果を説明するための図である。
- [図3A]同実施の形態のプラズマエッチング装置におけるエッチングチャンバーの内壁に絶縁性材料を用いた効果を説明するための図である。
- [図3B]同実施の形態のプラズマエッチング装置におけるエッチングチャンバーの内壁に絶縁性材料を用いた効果を説明するための図である。
- [図4]本発明の第2の実施の形態のプラズマエッチング装置の構成を示す図である。
- [図5]He量とアンダーカットの大きさとの関係を示す図である。
- [図6]ノッチの生じたトレンチが形成されたSOI基板の断面図である。

[図7]本発明の第3の実施の形態のプラズマエッチング装置の構成を示す図である。

[図8]本発明の第4の実施の形態のプラズマエッチング装置の構成を示す図である。

[図9]同実施の形態のプラズマエッチング装置においてシリコン基板にトレンチが形成される様子を説明するための図である。

[図10]所定の形状のトレンチが形成されたシリコン基板の断面図である。

[図11]サイドエッチングの生じたトレンチが形成されたシリコン基板の断面図である。

[図12A]従来のプラズマエッチング方法によるシリコン基板のエッチングを説明するための図である。

[図12B]従来のプラズマエッチング方法によるシリコン基板のエッチングを説明するための図である。

[図12C]従来のプラズマエッチング方法によるシリコン基板のエッチングを説明するための図である。

[図12D]従来のプラズマエッチング方法によるシリコン基板のエッチングを説明するための図である。

符号の説明

- [0031] 100、1100 エッチングチャンバー
- 110 上部電極
- 120 下部電極
- 130a、130b、730a、730b、1030a、1030b、1110a、1110b 高周波電源
- 140、1120 ガス導入口
- 150、1130 排気口
- 300 マスク
- 310、910、1150a シリコン基板
- 320 保護膜
- 600 エッチングチャンバー壁
- 610 プラズマ
- 900 ノッチ
- 920 ストッパー層

- 1000 アンダーカット
- 1140 誘電コイル
- 1150 電極
- 1150a シリコン基板
- 1160 誘電板
- 1170 ヒータ
- 1180 チャンバーヒータ

発明を実施するための最良の形態

[0032] 以下、本発明の実施の形態におけるプラズマエッチング装置について、図面を参照しながら説明する。

(第1の実施の形態)

図1は、第1の実施の形態のプラズマエッチング装置の構成を示す図である。

[0033] プラズマエッチング装置は、例えばICP (Inductively Coupled Plasma) 型エッチング装置であって、真空のエッチングチャンバー100と、エッチングチャンバー100内の上部電極110及び下部電極120と、高周波電源130a、130bと、ガス導入口140と、排気口150とを備える。

[0034] エッチングチャンバー100は、エッチングがおこなわれる処理室であり、内壁が例えば石英、アルミナ、アルマイト加工されたアルミ母材あるいは酸化イットリウム等の絶縁性材料からなる。

[0035] 高周波電源130a、130bは、例えば13.56MHzの高周波電力を供給する。

ガス導入口140は、エッチングチャンバー100にガスを供給する。

[0036] 排気口150は、エッチングチャンバー100内のガスを排気する。

次に、トランジスタ等の半導体装置の製造における1工程としての上記プラズマエッチング装置を用いたシリコン基板のトレンチ加工について、以下で順に説明する。

[0037] まず、下部電極120上にシリコン基板を載置し、エッチングチャンバー100内を一定の圧力に保ちながら、ガス導入口140を介してエッチングガスを供給し、排気口150から排気する。ここで、エッチングガスは、フッ素化合物ガス、例えばSF₆ガスを主成分とし、これに添加ガス、例えばO₂ガス及び希ガス、例えばHeガス等を添加した混

合ガスである。また、He量は、少ないとSF₆ガス及びO₂ガスのエッチングガス中での占める割合が大きくなってトレンチにサイドエッチングを生じたり、トレンチが先細りしたりし、また、多いとSF₆ガス及びO₂ガスのエッチングガス中での占める割合が小さくなってエッチングが進まないで、総流量に対して30%以上となるように調節する。なお、添加ガスはCOやCO₂などの炭素化合物であってもよく、また希ガスは、Arガス、Xeガス、Neガス、Krガスであってもよい。

[0038] 次に、高周波電源130a、130bから上部電極110及び下部電極120にそれぞれ高周波電力を供給して、エッチングガスをプラズマ化させる。F⁺イオン、Fラジカル等のプラズマ中の活性種は、シリコン基板のシリコンと反応して、SiF₄、SiO₂等の反応生成物を生成し、シリコン基板をエッチングしてトレンチを形成する。このとき、エッチング対象がシリコン基板であることを考慮して、下部電極120に印加するRFパワーは、低く例えば約50Wに設定する。

[0039] 以上のように本実施の形態のプラズマエッチング装置によれば、Heガスを含むエッチングガスを用いてシリコン基板にトレンチを形成する。よって、図2に示されるように、トレンチ内部のガスが外部に追い出されるようなガス流を発生させ、トレンチ内部の反応生成物及び活性種の滞在時間を短くすることができるので、本実施の形態のプラズマエッチング装置は、例えば40以上の高アスペクト比のトレンチを形成する場合においても、トレンチにサイドエッチングが生じたり、トレンチが先細りしたりするのを抑制することができる。つまり、トレンチ形状に対する要求とアスペクト比に対する要求とを同時に満たすことができるプラズマエッチング装置を実現することができる。

[0040] また、本実施の形態のプラズマエッチング装置によれば、1回のエッチング工程によりシリコン基板にトレンチを形成する。よって、トレンチ側壁に凸凹が生じるのを防ぐことができるので、本実施の形態のプラズマエッチング装置は、なめらかな形状の側壁を有するトレンチを形成できるプラズマエッチング装置を実現することができる。

[0041] また、本実施の形態のプラズマエッチング装置によれば、O₂ガスを含むエッチングガスを用いてシリコン基板をエッチングする。よって、トレンチに対する側壁保護効果を高めることができるので、本実施の形態のプラズマエッチング装置は、トレンチにサイドエッチングを生じさせず、所定形状のトレンチを形成できるプラズマエッチング装

置を実現することができる。

[0042] また、本実施の形態のプラズマエッチング装置によれば、エッチングチャンバー100の内壁が絶縁性材料から構成される。よって、図3Aに示されるように放電により生じた電子のエッチングチャンバー壁600への衝突によりプラズマ610の密度が低くならず、図3Bに示されるようにプラズマ610の密度を高く保ち、エッチングレートが高く維持し、トレンチに対する側壁保護効果の低下を防止することができるので、本実施の形態のプラズマエッチング装置は、トレンチにサイドエッチングを生じさせず、所定形状のトレンチを形成できるプラズマエッチング装置を実現することができる。

[0043] なお、本実施の形態のプラズマエッチング装置において、エッチングガスは、 SF_6 ガスを主成分とし、これに O_2 ガス及び希ガスを添加した混合ガスであるとした。しかし、エッチングガスには、さらに塩素(Cl_2)ガスが例えば総流量の10%以下、例えば約10%添加されていてもよい。これによって、トレンチ側壁保護効果が強すぎた場合に、トレンチの底まで保護する作用が働き、部分的にエッチングが阻害されて生じるトレンチの底の残渣を低減することができる。

[0044] また、本実施の形態のプラズマエッチング装置において、エッチングガスは、 SF_6 ガスを主成分とするとしたが、 NF_3 ガスを主成分としてもよい。

[0045] (第2の実施の形態)

上記第1の実施の形態のプラズマエッチング装置において、エッチングガスとして SF_6 ガス、 O_2 ガス及び希ガスを含む混合ガスを用い、その混合ガスに例えば13.56MHzの高周波数の電力を印加するとした。しかし、エッチングガスとして O_2 ガスを含まない混合ガス、つまり SF_6 ガス等のフッ素化合物ガス及び希ガスを含む混合ガスを用い、その混合ガスに27MHz以上の高周波数の電力を印加しても同様の効果が得られる。

[0046] そこで、第2の実施の形態のプラズマエッチング装置において、エッチングガスとして SF_6 ガス等のフッ素化合物ガス及び希ガスを含む混合ガスを用い、その混合ガスに27MHz以上の高周波数の電力を印加した。以下、第1の実施の形態と異なる点を中心に説明する。

[0047] 図4は、第2の実施の形態のプラズマエッチング装置の構成を示す図である。

プラズマエッチング装置は、第1の実施の形態のプラズマエッチング装置とは異なる高周波電源を有し、エッチングチャンバー100と、上部電極110及び下部電極120と、高周波電源730a、730bと、ガス導入口140と、排気口150とを備える。

[0048] 高周波電源730a、730bは、27MHz以上の高周波電力、例えば消費電力の少ない27MHzの高周波電力を供給する。

[0049] 次に、上記プラズマエッチング装置を用いたシリコン基板のトレンチ加工について、以下で順に説明する。

[0050] まず、下部電極120上にシリコン基板を載置し、エッチングチャンバー100内を一定の圧力に保ちながら、ガス導入口140を介してエッチングガスを供給し、排気口150から排気する。ここで、エッチングガスは、SF₆ガス等のフッ素化合物ガスを主成分とし、希ガス、例えばHeガス等のガスを添加した混合ガスである。また、トレンチに対するサイドエッチングの進行の度合い、つまりアンダーカット(図11の1000)の大きさは、He量に対して図5に示されるような変化を示す。すなわち、He量が80%より小さくなるとサイドエッチングの進行度合いが大きくなる。よって、He量は、総流量に対して80%以上となるように調節する。なお、希ガスは、Arガス、Xeガスであってもよい。

[0051] 次に、高周波電源730a、730bから上部電極110及び下部電極120にそれぞれ高周波電力を供給して、エッチングガスをプラズマ化させる。F⁺イオン、Fラジカル等のプラズマ中の活性種は、シリコン基板のシリコンと反応して、SiF₄等の反応生成物を生成し、シリコン基板をエッチングしてトレンチを形成する。

[0052] 以上のように本実施の形態のプラズマエッチング装置によれば、第1の実施の形態のプラズマエッチング装置と同様に、トレンチ形状に対する要求とアスペクト比に対する要求とを同時に満たすことができるプラズマエッチング装置を実現することができる。

[0053] また、本実施の形態のプラズマエッチング装置によれば、第1の実施の形態のプラズマエッチング装置と同様に、なめらかな形状の側壁を有するトレンチを形成できるプラズマエッチング装置を実現することができる。

[0054] また、本実施の形態のプラズマエッチング装置によれば、エッチングガスに27MHz以上の高周波数の電力を印加してプラズマ化し、シリコン基板をエッチングする。よつ

て、トレンチに対するサイドエッチングの進行を抑えることができるので、本実施の形態のプラズマエッチング装置は、トレンチにサイドエッチングを生じさせず、所定形状のトレンチを形成できるプラズマエッチング装置を実現することができる。

[0055] なお、本実施の形態のプラズマエッチング装置において、エッチングガスは、 SF_6 ガスを主成分とするとしたが、 NF_3 ガスを主成分としてもよい。

[0056] また、本実施の形態のプラズマエッチング装置において、エッチングガスとして SF_6 ガス、 O_2 ガス及び希ガスを含む混合ガスを用い、その混合ガスに27MHz以上の高周波数の電力を印加しても同様の効果が得られる。

(第3の実施の形態)

[0057] 上記第1の実施の形態のプラズマエッチング装置において、エッチングガスとして SF_6 ガス、 O_2 ガス及び希ガスを含む混合ガスを用いるとした。しかし、エッチングガスとして SF_6 ガス等のフッ素化合物ガス、ポリマー生成ガス及び希ガスを含む混合ガスを用いても同様の効果が得られ、更にSOI (Silicon On Insulator) 基板等の下方に絶縁性のストッパー層のあるシリコン基板をエッチングする場合におけるサイドエッチングの進行を抑えることができる。

[0058] すなわち、第1の実施の形態のプラズマエッチング装置では、 O_2 とシリコンとが反応して生成される反応生成物によりトレンチ側壁を保護している。よって、SOI基板等においてエッチングによりストッパー層が露出すると反応生成物の生成が止まってトレンチ側壁を保護できなくなり、図6に示されるようなノッチ900がストッパー層920近傍のシリコン基板910に形成される。しかし、エッチングガスとしてポリマー生成ガスを用いると、ポリマー生成ガスにより生成されたポリマーによりトレンチ側壁が保護される。よって、ストッパー層が露出してもポリマーの生成は止まらず、トレンチ側壁を保護し続けることができるのである。

[0059] そこで、第3の実施の形態のプラズマエッチング装置において、エッチングガスとして SF_6 ガス等のフッ素化合物ガス、ポリマー生成ガス及び希ガスを含む混合ガスを用いた。以下、第1の実施の形態と異なる点を中心に説明する。なお、ポリマー生成ガスとしては、例えば C_4F_8 ガス、 CHF_3 ガス、 C_5F_8 ガス及び C_4F_6 ガス等がある。

[0060] 図7は、第3の実施の形態のプラズマエッチング装置の構成を示す図である。

プラズマエッチング装置は、第1の実施の形態のプラズマエッチング装置と同様の構成を有し、エッチングチャンバー100と、上部電極110及び下部電極120と、高周波電源1030a、1030bと、ガス導入口140と、排気口150とを備える。

- [0061] 次に、上記プラズマエッチング装置を用いたSOI基板のトレンチ加工について、以下で順に説明する。
- [0062] まず、下部電極120上にSOI基板を載置し、エッチングチャンバー100内を一定の圧力に保ちながら、ガス導入口140を介してエッチングガスを供給し、排気口150から排気する。ここで、エッチングガスは、 SF_6 ガス等のフッ素化合物ガスを主成分とし、これにポリマー生成ガス及び希ガス、例えばHeガス等を添加した混合ガスである。また、He量は、少ないと SF_6 ガスのエッチングガス中での占める割合が大きくなってトレンチにサイドエッチングを生じたり、トレンチが先細りしたりし、また、多いと SF_6 ガスのエッチングガス中での占める割合が小さくなってエッチングが進まないのので、総流量に対して30%以上となるように調節する。なお、希ガスは、Arガス、Xeガスであってもよい。
- [0063] 次に、高周波電源1030a、1030bから上部電極110及び下部電極120にそれぞれ低周波電力を供給して、エッチングガスをプラズマ化させる。 F^+ イオン、Fラジカル等のプラズマ中の活性種は、SOI基板のシリコンと反応して、 Si_2F_6 等の反応生成物を生成し、SOI基板のシリコン基板をストッパー層が露出するまでエッチングしてトレンチを形成する。
- [0064] 以上のように本実施の形態のプラズマエッチング装置によれば、第1の実施の形態のプラズマエッチング装置と同様に、トレンチ形状に対する要求とアスペクト比に対する要求とを同時に満たすことができるプラズマエッチング装置を実現することができる。
- [0065] また、本実施の形態のプラズマエッチング装置によれば、第1の実施の形態のプラズマエッチング装置と同様に、なめらかな形状の側壁を有するトレンチを形成できるプラズマエッチング装置を実現することができる。
- [0066] また、本実施の形態のプラズマエッチング装置によれば、ポリマー生成ガスを含むエッチングガスを用いてSOI基板にトレンチを形成する。よって、ストッパー層が露出

した後もトレンチ側壁を保護し続けることができるので、本実施の形態のプラズマエッチング装置は、トレンチにサイドエッチングを生じさせず、所定形状のトレンチをSOI基板等に形成できるプラズマエッチング装置を実現することができる。

[0067] なお、本実施の形態のプラズマエッチング装置において、エッチングガスとしてSF₆ガス、ポリマー生成ガス及び希ガスを含む混合ガスを用いて、SOI基板等の下方にストッパー層のあるシリコン基板をエッチングする場合におけるサイドエッチングの進行を抑えるとした。しかし、エッチングガスとしてポリマー生成ガスを含まない混合ガス、つまりフッ素化合物ガス、例えばSF₆ガス及び希ガスを含む混合ガスを用いても、プラズマエッチング装置が例えば500kHzの低周波電力を供給する低周波電源を備え、エッチングガスに500kHzの低周波数の電力を印加すれば同様の効果が得られる。

[0068] すなわち、第1の実施の形態のプラズマエッチング装置では、13.56MHzの高周波の電力を使用しているために正イオンはシリコン基板に低速で入射する。よって、SOI基板等においてエッチングによりストッパー層が露出すると、既に入射された正イオンにより帯電したストッパー層によりその後入射される正イオンの軌道が曲げられる。しかし、500kHzの低周波の電力を使用すると正イオンはシリコン基板に高速で入射する。よって、SOI基板等においてエッチングによりストッパー層が露出しても正イオンの軌道は大きく曲げられず、トレンチ側壁を保護し続けることができるのである。

[0069] よって、エッチングガスに500kHzの低周波の電力を印加してプラズマ化することにより、所定形状のトレンチをSOI基板等に形成できるプラズマエッチング装置を実現してもよい。

[0070] また、本実施の形態のプラズマエッチング装置において、上記ポリマー生成ガスを用いたエッチングあるいは低周波の電力を用いたエッチングにより所定形状のトレンチをSOI基板等に形成できるプラズマエッチング装置を実現するとした。しかし、例えば50～90%以上トレンチ加工されるまで、SF₆ガス、O₂ガス及び希ガスを含む混合ガスをエッチングガスとして用いて第1の実施の形態のようにエッチングを行い、その後、残りのトレンチ加工のために、上記ポリマー生成ガスを用いたエッチングあるいは低周波の電力を用いた本実施の形態のエッチングを行ってもよい。

[0071] これによって、エッチングによりストッパー層が露出するまでは、 O_2 ガスを用いたエッチングを行って高いエッチング速度を実現し、エッチングによりストッパー層が露出した後は、ポリマー生成ガスを用いたエッチングを行ってサイドエッチングの進行の少ないエッチングを実現することができる。

[0072] また、本実施の形態のプラズマエッチング装置において、エッチングガスは、 SF_6 ガスを主成分とするとしたが、 NF_3 ガスを主成分としてもよい。

[0073] (第4の実施の形態)

上記第1の実施の形態のプラズマエッチング装置において、エッチング処理開始直後にプラズマが安定するまでにトレンチ加工が終了するとトレンチの深さがばらつく。よって、深さの浅い、例えば200nm以下のトレンチを形成する場合には、エッチング速度を遅くしてプラズマが安定するまでにトレンチ加工が終了しないようにする必要がある。しかし、第1の実施の形態のプラズマエッチング装置では、エッチング速度を50nm/minより遅くすることができず、深さの浅いトレンチを形成する場合には、プラズマが安定するまでにトレンチ加工が終了してしまうので、高い寸法精度で深さの浅いトレンチを形成することができない。このとき、エッチング速度を遅くする方法として下部電極に印加するRFパワーを低くする方法が考えられるが、RFパワーが低くなるとプラズマ密度が低くなるため、所望のラジカル・イオンを得ることが困難となり、また、放電が不安定になるので、この方法では新たな問題が生じる。

[0074] そこで、第4の実施の形態のプラズマエッチング装置において、エッチングガスとしてフッ素化合物ガス、例えば CF_4 ガス及び希ガスを含む混合ガスを用いた。以下、第1の実施の形態と異なる点を中心に説明する。

[0075] 図8は、第1の実施の形態のプラズマエッチング装置の構成を示す図である。

プラズマエッチング装置は、例えばICP型エッチング装置であって、真空のエッチングチャンバー1100と、高周波電源1110a、1110bと、ガス導入口1120と、排気口1130と、スパイラル・アンテナ状の誘電コイル1140と、シリコン基板1150aが載置される電極1150と、石英板等の誘電板1160と、ヒータ1170と、チャンバーヒータ1180とを備える。

[0076] エッチングチャンバー1100は、エッチングが行われる処理室である。

高周波電源1110a、1110bは、例えば13.56MHzの高周波電圧を誘電コイル1140及び電極1150に印加する。

- [0077] ガス導入口1120は、エッチングチャンバー1100にガスを供給する。
排気口1130は、エッチングチャンバー1100内のガスを排気する。
- [0078] 次に、上記プラズマエッチング装置を用いたシリコン基板のトレンチ加工について、以下で順に説明する。
- [0079] まず、電極1150上にシリコン基板1150aを載置し、エッチングチャンバー1100内を一定の圧力に保ちながら、ガス導入口1120を介してエッチングガスを供給し、排気口1130から排気する。ここで、エッチングガスは、 CF_4 ガス等のフッ素化合物ガスを主成分とし、これに希ガス、例えばArガス等を添加した混合ガスである。また、Ar量は、少ないと CF_4 ガスのエッチングガス中での占める割合が大きくなってトレンチにサイドエッチングが生じたり、トレンチが先細りしたりし、また、多いと CF_4 ガスのエッチングガス中での占める割合が小さくなってエッチングが進まないため、総流量に対して50～90%となるように調節する。なお、希ガスは、Heガス、Xeガスであってもよい。
- [0080] 次に、高周波電源1110a、1110bから誘電コイル1140及び電極1150にそれぞれ高周波電力を供給して、エッチングガスをプラズマ化させる。 F^+ イオン、Fラジカル等のプラズマ中の活性種は、図9に示されるように、シリコン基板のシリコンと反応して、 SiF_x 、 Si_2F_6 等の反応生成物を生成し、シリコン基板をエッチングしてトレンチを形成する。
- [0081] 以上のように本実施の形態のプラズマエッチング装置によれば、Arガスを含むエッチングガスを用いてシリコン基板にトレンチを形成する。よって、トレンチ内部のガスが外部に追い出されるようなガス流を発生させ、トレンチ内部の反応生成物及び活性種の滞在時間を短くすることができるので、本実施の形態のプラズマエッチング装置は、例えば40以上の高アスペクト比のトレンチを形成する場合においても、トレンチにサイドエッチングが生じたり、トレンチが先細りしたりするのを抑制することができる。つまり、トレンチ形状に対する要求とアスペクト比に対する要求とを同時に満たすことができるプラズマエッチング装置を実現することができる。

[0082] また、本実施の形態のプラズマエッチング装置によれば、1回のエッチング工程によりシリコン基板にトレンチを形成する。よって、トレンチ側壁に凸凹が生じるのを防ぐことができるので、本実施の形態のプラズマエッチング装置は、なめらかな形状の側壁を有するトレンチを形成できるプラズマエッチング装置を実現することができる。

[0083] また、本実施の形態のプラズマエッチング装置によれば、 SF_6 ガスに比べラジカルを解離させる度合いの小さな CF_4 ガスを主成分とし、これにArガスを添加した混合ガスをエッチングガスに用いてシリコン基板にトレンチを形成する。よって、反応性を弱め、エッチング速度を $50\text{nm}/\text{min}$ より遅く、例えば $12\text{nm}/\text{min}$ にすることができるので、本実施の形態のプラズマエッチング装置は、高い寸法精度で例えば 200nm 以下の深さの浅い高アスペクト比のトレンチを形成できるプラズマエッチング装置を実現することができる。すなわち、 $2000\text{nm}/\text{min}$ のエッチング速度で 100nm の深さのトレンチを形成する場合、エッチングは約 3sec で終了するので、プラズマが安定するまでの時間のサンプル間でのばらつきが約 1sec であることを考慮に入れると、エッチング深さのばらつきは約 30% となり、深さばらつきとして許容される約 5% を超えるが、 $20\text{nm}/\text{min}$ のエッチング速度で 100nm の深さのトレンチを形成する場合、同様の計算でエッチング深さのばらつきは約 0.3% となり、約 5% を超えないので、本実施の形態のプラズマエッチング装置は、深さ方向的にかなり高精度な制御を可能とするのである。

産業上の利用可能性

[0084] 本発明は、プラズマエッチング方法に利用でき、特に半導体装置のトレンチ加工に際しての半導体基板のエッチング等に利用することができる。

請求の範囲

- [1] 処理室内においてSiからなる被処理体をプラズマエッチングする方法であって、
フッ素化合物ガス及び希ガスを含むエッチングガスを前記処理室内に導入し、前記
エッチングガスをプラズマ化して前記被処理体をエッチングする
ことを特徴とするプラズマエッチング方法。
- [2] 前記エッチングガスは、さらに O_2 ガス、COガスあるいは CO_2 ガスを含み、
前記フッ素化合物ガスは、 SF_6 ガスである
ことを特徴とする請求項1に記載のプラズマエッチング方法。
- [3] 前記希ガスは、Heガスである
ことを特徴とする請求項2に記載のプラズマエッチング方法。
- [4] 前記処理室内に導入するHeガスの量は、前記エッチングガスの総流量に対して3
0%以上である
ことを特徴とする請求項3に記載のプラズマエッチング方法。
- [5] 前記処理室の内壁は、絶縁性材料から構成される
ことを特徴とする請求項4に記載のプラズマエッチング方法。
- [6] 前記絶縁性材料は、石英、アルミナ、アルマイト加工されたアルミ母材、酸化イットリ
ウムあるいはシリコンカーバイド、窒化アルミニウムである
ことを特徴とする請求項5に記載のプラズマエッチング方法。
- [7] 前記エッチングガスは、さらに Cl_2 ガスを含む
ことを特徴とする請求項2に記載のプラズマエッチング方法。
- [8] 前記処理室内に導入する Cl_2 ガスの量は、前記エッチングガスの総流量に対して1
0%以下である
ことを特徴とする請求項7に記載のプラズマエッチング方法。
- [9] 前記フッ素化合物ガスは、 SF_6 ガスもしくは NF_3 ガスであり、
前記エッチングガスに27MHz以上の周波数の電力を印加してプラズマ化する
ことを特徴とする請求項1に記載のプラズマエッチング方法。
- [10] 前記希ガスは、Heガスであり、
前記処理室内に導入するHeガスの量は、前記エッチングガスの総流量に対して8

0%以上である

ことを特徴とする請求項9に記載のプラズマエッチング方法。

- [11] 前記エッチングガスは、さらにポリマー生成ガスを含み、

前記フッ素化合物は、 SF_6 ガスである

ことを特徴とする請求項1に記載のプラズマエッチング方法。

- [12] 前記ポリマー生成ガスは、 C_4F_8 ガス、 CHF_3 ガス、 C_5F_8 ガス及び C_4F_6 ガスのいずれかである

ことを特徴とする請求項11に記載のプラズマエッチング方法。

- [13] 前記フッ素化合物ガスは、 SF_6 ガスであり、

前記エッチングガスに500kHzの周波数の電力を印加してプラズマ化する

ことを特徴とする請求項1に記載のプラズマエッチング方法。

- [14] O_2 ガス、 CO ガスあるいは CO_2 ガスを含み、フッ素化合物ガスとして SF_6 ガスを用いたエッチングガスを用いて前記被処理体をエッチングした後に、ポリマー生成ガスを含み、フッ素化合物ガスとして SF_6 ガスを用いたエッチングガスを用いて前記被処理体を更にエッチングする

ことを特徴とする請求項1に記載のプラズマエッチング方法。

- [15] 前記フッ素化合物ガスは、 CF_4 ガスである

ことを特徴とする請求項1に記載のプラズマエッチング方法。

- [16] 前記希ガスは、 Ar ガスである

ことを特徴とする請求項15に記載のプラズマエッチング方法。

- [17] 前記処理室内に導入する Ar ガスの量は、前記エッチングガスの総流量に対して50～90%である

ことを特徴とする請求項16に記載のプラズマエッチング方法。

- [18] 前記エッチングガスをICP法によりプラズマ化する

ことを特徴とする請求項1に記載のプラズマエッチング方法。

- [19] シリコン基板をエッチングする装置であって、

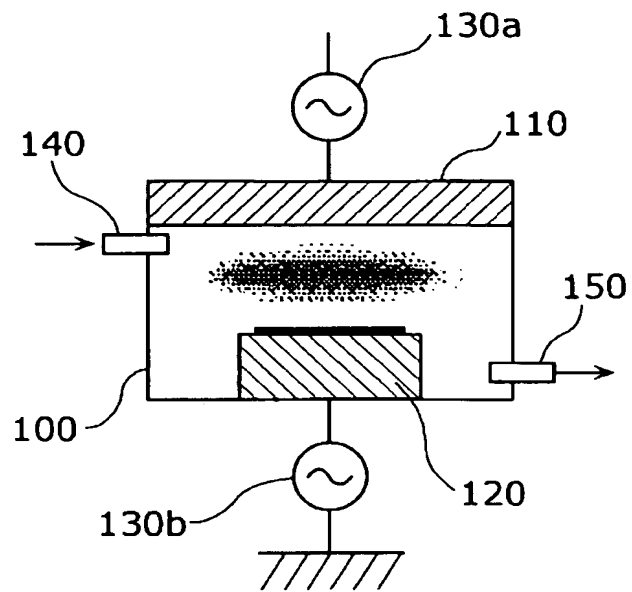
請求項1に記載のプラズマエッチング方法を用いて前記シリコン基板にトレンチを形成する

ことを特徴とするエッチング装置。

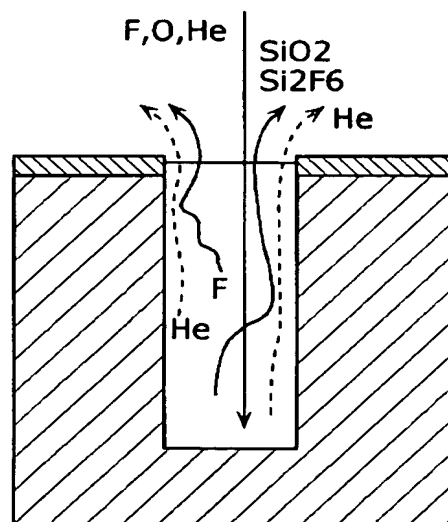
要 約 書

本発明は、トレンチ形状に対する要求とアスペクト比に対する要求とを同時に満たすことができ、かつ、なめらかな形状の側壁を有するトレンチを形成できるプラズマエッチング方法を提供することを目的とするものであって、下部電極(120)上にシリコン基板を載置し、ガス導入口(140)を介してエッチングガスを供給し、排気口(150)から排気し、高周波電源(130a、130b)から上部電極(110)及び下部電極(120)にそれぞれ高周波電力を供給してエッチングガスをICP法によりプラズマ化し、活性種を生成させてシリコン基板のエッチングを進行させ、エッチングガスとしてSF₆ガスを主成分とし、これにO₂ガス及びHeガスを添加した混合ガスを用いる。

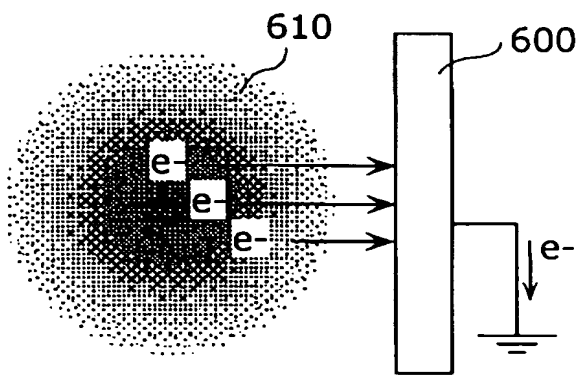
[図1]



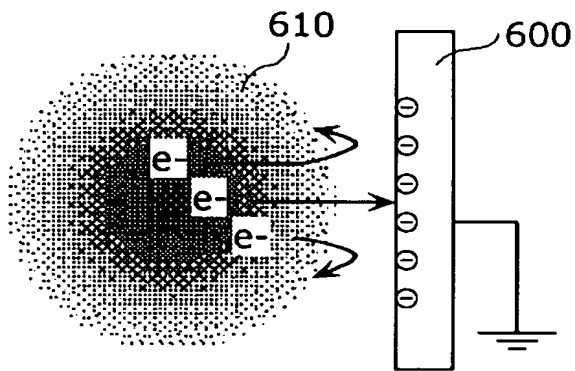
[図2]



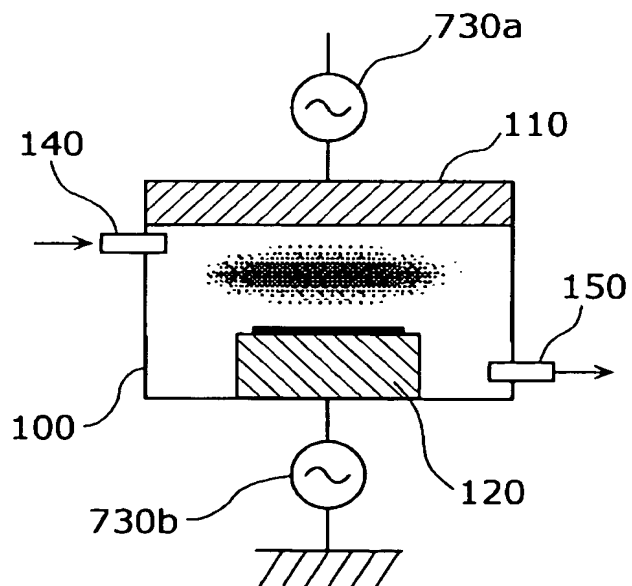
[図3A]



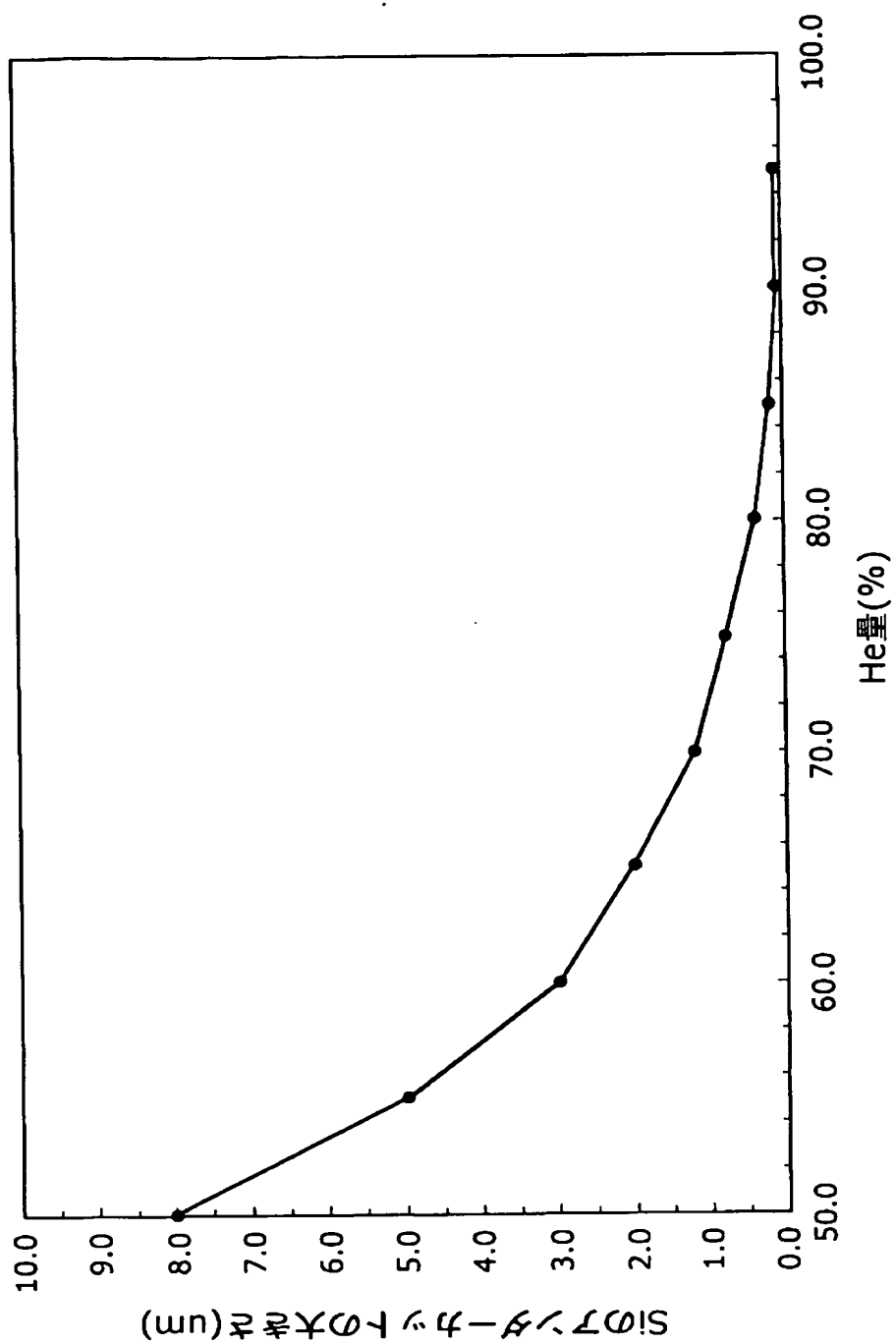
[図3B]



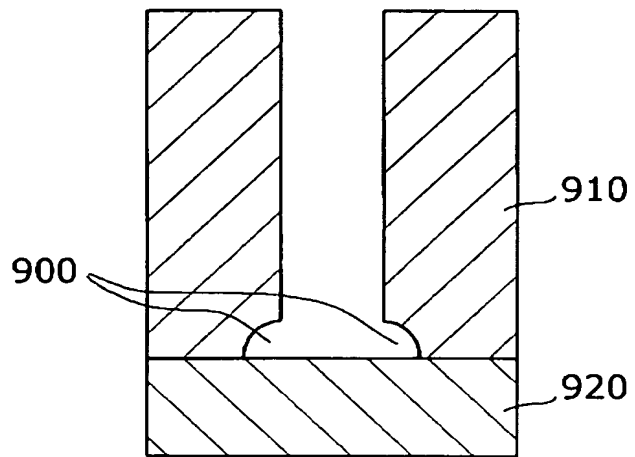
[図4]



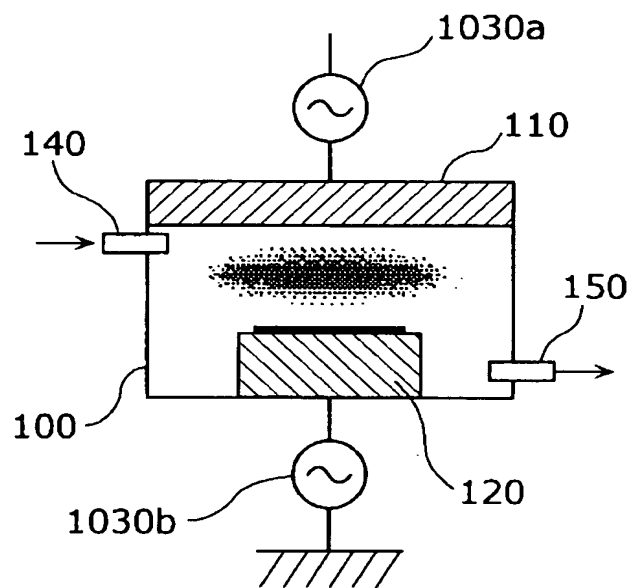
[図5]



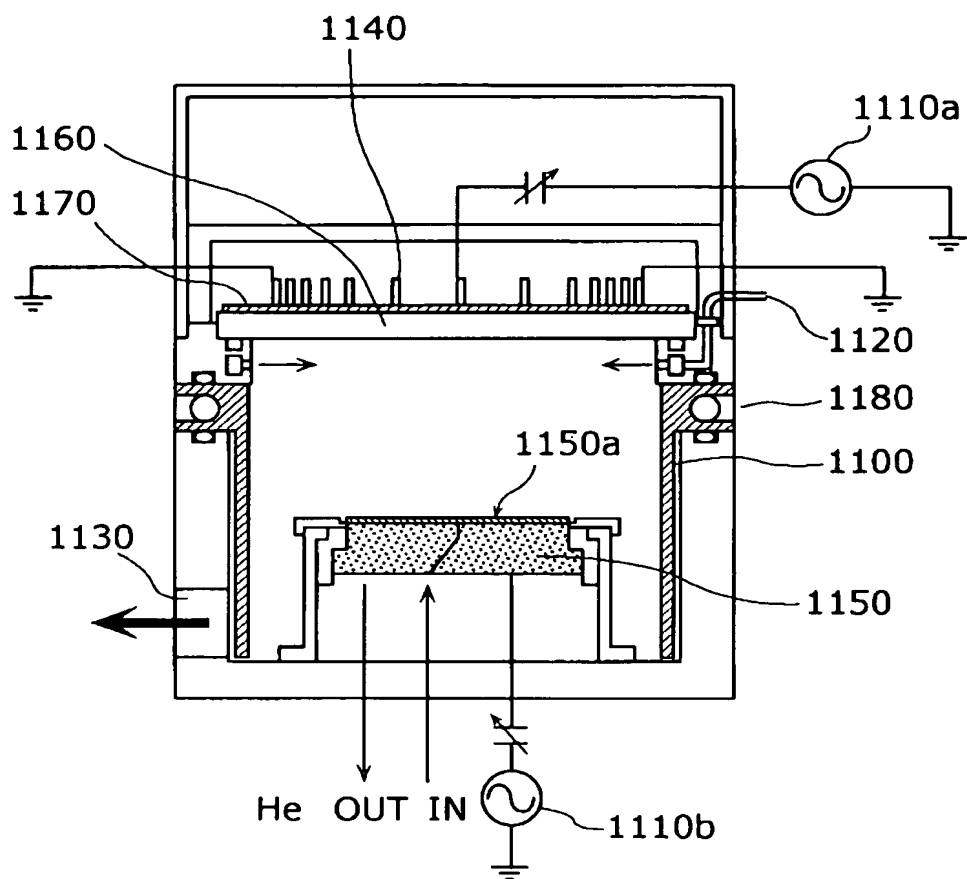
[図6]



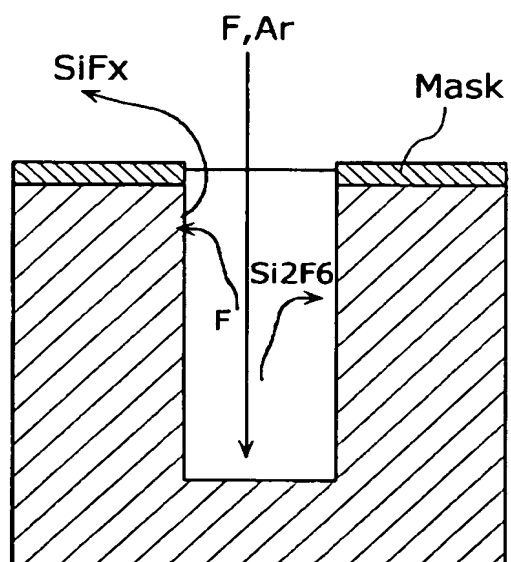
[図7]



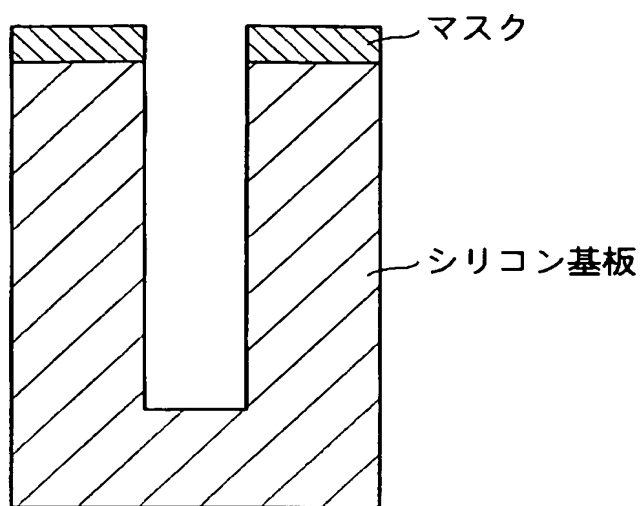
[図8]



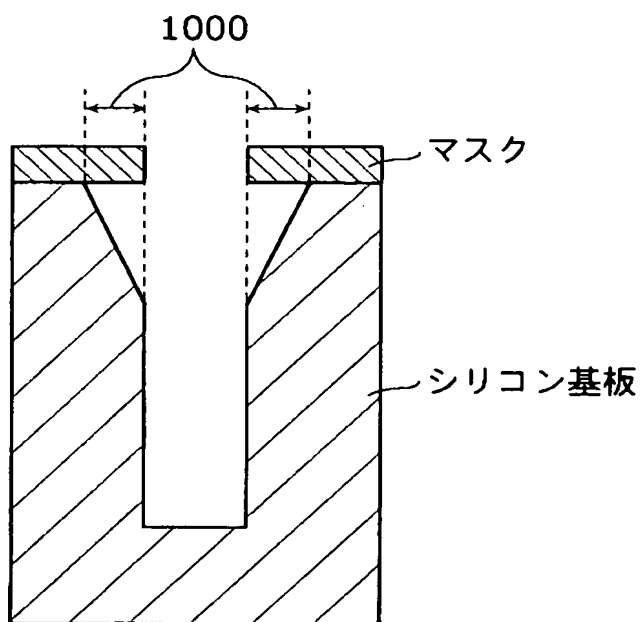
[図9]



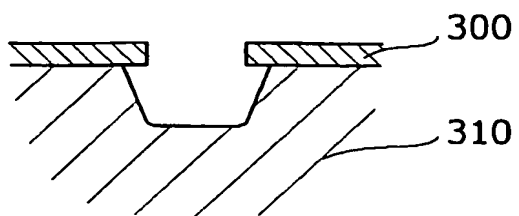
[図10]



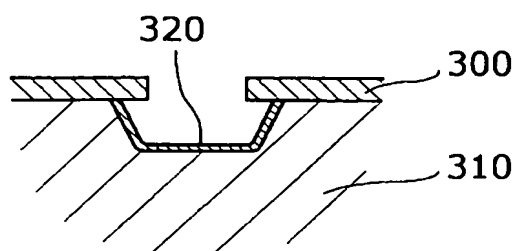
[図11]



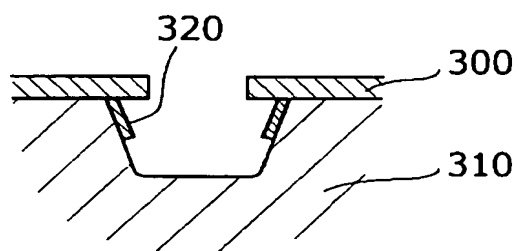
[図12A]



[図12B]



[図12C]



[図12D]

